Iranian Journal of Seed Research

Homepage: https://yujs.yu.ac.ir/jisr

ISSN: 2383-1480 (On-Line); 2383-1251 (Print)

Yasouj University

Zinc Oxide Nanoparticles Priming Enhances Germination Characteristics of Chickpea (*Cicer arietinum*) Seeds under Drought Stress

Nasrin Teimoori[1], **Mohsen Saeidi**[2] ✉, **Mahmood Khoramivafa**[2], and **Shahab khoshkhoy**[3]

1. Postdoctoral student, Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah. Iran. Email: nasrin.teimoori@gmail.com
2. Corresponding author, Associated Professor, Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah. Iran. Email: msaeidi@razi.ac.ir; khoramivafa@razi.ac.ir
3. Medicinal plants, Department of Kermanshah ACECR institute of Higher Education, Kermanshah, Iran. Email: khoshkhooi@acecr.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 2 June 2025
Received in revised form 9 August 2025
Accepted 18 August 2025
Available online 22 September 2025

Keywords:
Abnormal seedling
Allometric coefficient
Plumule
Radicle
Seed vigor

ABSTRACT

Objective: This study aimed to assess the efficiency of zinc oxid (ZnO) nanoparticles in mitigating drought stress effects in comparison with bulk ZnO, and to examine the influence of different priming durations on chickpea seed germination under drought conditions.

Method: A three-factorial experiment based on a completely randomized design was conducted with three replications on germination and seedling growth characteristics of chickpea cultivar Kasra. The factors included: 1) seed priming at 4 levels (priming with zinc oxide in the form of nanoparticles 1-100 and 40-60 nm, priming with bulk zinc oxide, and hydropriming), 2) priming duration at 3 levels (6, 12 and 24 hours) and 3) drought stress levels at 4 levels (no stress, -2, -4 and -8 bar using polyethylene glycol 6000).

Results: The results showed that drought stress had a significant effect on all measured variables. Although priming with nanoparticles and bulk zinc oxide performed better than hydropriming; in comparison with bulk zinc oxide priming and nanopriming, nanopriming with a diameter of 1 to 100 nm showed better efficiency. Increasing the drought stress intensity led to a significant rise in the number of abnormal seedlings. Priming especially with zinc oxide (nano and bulk), modulated the drought stress effects in non-stressed conditions and mild to moderate stresses (-2 to -4 bar). However, under severe stress (-8 bar), drought stress damage was not compensated by priming. The results also showed that increasing the priming time had a significant effect on seedling length, germination rate and longitudinal index of seedling vigor. However, increasing the duration from 12 to 24 did not have a significant effect on this increasing trend.

Conclusions: Rapid and optimal germination plays a crucial role in the formation of a reliable crop with excellent yield. Zinc oxide nanoparticles significantly enhance germination, biochemical activities, and seedling growth of chickpea, however, determining the optimal dosage and application method is critical to maximize benefits while avoiding potential toxicity associated with excessive nanoparticle use.

Cite this article: Teimoori, N., Saeidi, M., Khoramivafa, M., & Khoshkhoy, S. (2025). Zinc oxide nanoparticles priming enhances germination characteristics of chickpea (*Cicer arietinum*) seeds under drought stress. *Iranian Journal of Seed Research*, *12* (1), 117-132. http://doi.org/10.66224/yujs.12.1.117

© The Author(s).

Publisher: Yasouj University.

DOI: http://doi.org/10.66224/yujs.12.1.117

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-17]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.117]

Highlights

- Seed priming with zinc oxide nanoparticles (1–100 nm in diameter) was more effective than using bulk zinc oxide or nanoparticles sized 40–60 nm.
- Under no-stress and mild to moderate drought stress conditions (-2 to -4 bar), priming — particularly with zinc oxide (both nano and bulk forms) — alleviated drought-induced damage.
- Drought stress up to -2 bar did not significantly affect the germination percentage of chickpea seeds compared to the non-primed control.

Introduction

Chickpea is widely cultivated in semi-arid and temperate regions; therefore, it is often subjected to drought stress damage (Fazeli-Nasab et al., 2025). If drought occurs during the seedling stage, it can significantly delay germination and result in incomplete emergence (Khan et al., 2025). Zinc plays an important role in plant growth and resistance to drought stress. Seed priming with nanoparticles has emerged as a promising technique to stimulate early growth, improve seedling vigor, and ultimately increase both the quantity and quality of crop yield (Nile et al., 2022). The small size and high specific surface area of zinc oxide nanoparticles may result in higher absorption by the seed and greater efficiency in enhancing drought stress resistance compared to the bulk form (El-Shazoly et al., 2025). This study aimed to assess the efficiency of ZnO nanoparticles in mitigating drought stress effects in comparison with bulk ZnO, and to examine the influence of different priming durations on chickpea seed germination under drought conditions.

Method

The study employed a completely randomized three-factorial design with three replications to assess chickpea (cultivar Kasra) seed germination and seedling growth under varying conditions. The first factor was the seed priming agent, which included five treatments: two sizes of zinc oxide nanoparticles (1–100 nm and 40–60 nm), bulk zinc oxide, and hydropriming. The second factor was the duration of priming, set at 6, 12, and 24 hours. The third factor was the level of drought stress, applied using polyethylene glycol 6000 to create osmotic potentials of 0 (no stress), –2, –4, and –8 bar.

Results

The results demonstrated that drought stress significantly impacted all measured germination parameters. In general, seed priming positively influenced germination traits, likely by enhancing cellular metabolic activity and facilitating the breakdown of seed storage reserves into mobile carbohydrates such as sucrose and glucose. Notably, priming with zinc oxide (both nanoparticles and bulk forms) proved more effective than hydropriming alone.

A comparative analysis revealed that priming with zinc oxide nanoparticles (1–100 nm in diameter) was superior to priming with bulk zinc oxide. This enhanced efficacy may be

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-17]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.117]

explained by the efficient uptake and transport of nanoparticles within this size range. Their small dimensions potentially allow for movement through plasmodesmata, whose diameters typically range from 40 to 60 nm.

As the intensity of drought stress increased, a significant rise in the number of abnormal seedlings was observed. Priming treatments, particularly those involving zinc oxide (nano and bulk), effectively modulated the adverse effects of drought under non-stressed conditions and mild to moderate stress levels (corresponding to -2 to -4 bar). However, under severe drought stress (-8 bar), the damage was too profound to be mitigated by any of the priming treatments applied.

Conclusions

The establishment of a high-yielding crop relies on rapid and optimal germination. For chickpea, zinc oxide nanoparticles can significantly promote this process along with biochemical activities and seedling growth. Nevertheless, careful optimization of dosage and application is imperative to harness these advantages and circumvent the potential phytotoxicity of nanoparticle over-application.

Author Contributions

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to acknowledge the financial and equipment support of Razi University and the National Chickpea Council of Iran.

Ethical Considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, and plagiarism, and any form of misconduct.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-17]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.117]

پژوهش‌های بذر ایران

Homepage: https://yujs.yu.ac.ir/jisr

ISSN: 2383-1480 (On-Line); 2383-1251 (Print)

بهبود ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر نخود (*Cicer arietinum*) با پرایمینگ نانو ذرات اکسید روی تحت تنش خشکی

نسرین تیموری[۱]، محسن سعیدی[۲]✉، محمود خرمی وفا[۲] و شهاب خوشخوی[۳]

۱. دانشجوی پسادکترا گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: nasrin.teimoori@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: msaeidi@razi.ac.ir ،khoramivafa@razi.ac.ir

۳. پژوهشگر موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی گروه گیاهان دارویی، موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی کرمانشاه، ایران. رایانامه: khoshkhooi@acecr.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۷
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۲۹

کلیدواژه‌ها:
بنیه بذر
جوانه غیرطبیعی
ریشه‌چه
ساقه‌چه
ضریب آلومتریک

چکیده

هدف: هدف از اجرای این آزمایش بررسی کارایی کاهش اثرات منفی تنش خشکی توسط فرم نانوذره اکسید روی در مقایسه با فرم بالک آن و همچنین تأثیر مدت زمان پرایمینگ بذر بر بهبود ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر نخود در شرایط تنش خشکی بود.

روش پژوهش: آزمایش به‌صورت فاکتوریل سه عاملی درقالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه نخود رقم کسری انجام شد. عامل‌ها شامل: پرایمینگ بذر در ۴ سطح (پرایمینگ با اکسید روی به فرم نانو ذره ۱۰۰-۱ و ۶۰-۴۰ نانومتر، پرایمینگ با فرم بالک اکسید روی، و هیدروپرایمینگ)، مدت زمان پرایمینگ در ۳ سطح (۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت) و سطوح تنش خشکی در چهار سطح (عدم تنش، ۲-، ۴- و ۸- بار با استفاده از پلی‌اتلین‌گلایکول ۶۰۰۰) بودند.

یافته‌ها: بر اساس یافته‌های به‌دست‌آمده، تنش خشکی بر تمامی متغیرهای اندازه‌گیری شده تأثیر معنی‌داری داشت. هرچند پرایمینگ با نانو ذره و فرم بالک اکسید روی از هیدرو پرایمینگ بهتر عمل کرد؛ در مقایسه پرایمینگ با اکسید روی به فرم بالک و پرایمینگ با فرم نانوذره نیز، پرایمینگ با نانوذرات به قطر ۱ تا ۱۰۰ نانومتر کارکرد بهتری را نشان داد. افزایش سطح تنش خشکی به افزایش معنی‌دار شمار گیاهچه‌های غیر طبیعی منجر شد. در شرایط بدون تنش و تنش‌های ملایم تا متوسط (۲- تا ۴- بار)، انجام پرایم به ویژه همراه با اکسید روی (نانو و بالک) توانست اثرات تنش خشکی را تعدیل کند. با اینحال در تنش شدید (۸- بار) آسیب تنش خشکی بوسیله پرایمینگ جبران نشد. نتایج آزمایش همچنین نشان داد افزایش مدت زمان پرایمینگ تأثیر معنی‌داری بر طول گیاهچه، سرعت جوانه‌زنی و شاخص طولی بنیه گیاهچه داشت. با این¬حال افزایش مدت از ۱۲ به ۲۴، تأثیر معنی‌داری بر این روند افزایشی نداشت.

نتیجه‌گیری: جوانه‌زنی سریع و بهینه، در شکل‌گیری یک زراعت مطمئن با عملکرد مناسب نقش بسیار مهمی دارد. نانو ذرات اکسید روی به طور قابل توجهی جوانه‌زنی و رشد گیاهچه نخود را تقویت می‌کنند، هرچند تعیین غلظت بهینه و کاربرد دقیق نانوذرات برای به حداکثر رساندن مزایا و به حداقل رساندن پتانسیل اثرات سمی آن‌ها بسیار مهم است.

جنبه‌های نوآوری:

- پرایمینگ با نانوذرات اکسید روی با قطر ۱ تا ۱۰۰ نانومتر کارکرد بهتری در مقایسه با فرم بالک و نانوذره ۴۰ تا ۶۰ نانومتر داشت.
- در شرایط بدون تنش و تنش‌های ملایم تا متوسط (۲- تا ۴- بار)، انجام پرایمینگ به ویژه همراه با اکسید روی (نانو و بالک) آسیب‌های تنش خشکی را تعدیل می‌کند.
- اعمال تنش خشکی تا سطح ۲- بار تأثیر معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی نخود نسبت به شاهد نداشت.

استناد: تیموری، نسرین؛ سعیدی، محسن؛ خرمی وفا، محمود و خوشخوی، شهاب (۱۴۰۴). بهبود ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر نخود (*Cicer arietinum*) با پرایمینگ نانو ذرات اکسید روی تحت تنش خشکی. *پژوهش‌های بذر ایران*، ۱۲(۱)، ۱۳۲-۱۱۷. http://doi.org/10.66224/yujs.12.1.117

ناشر: دانشگاه یاسوج.

© نویسندگان.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-17]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.117]

مقدمه

نخود (*Cicer arietinum* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان خانواده حبوبات است و به طور گسترده در مناطق نیمه خشک و معتدل کشت می‌شود. دانه نخود با ۱۷ تا ۳۰ درصد پروتئین (ساها[1] و همکاران، ۲۰۲۲)، منبع مناسبی برای مهار سوءتغذیه در جمعیت‌های کم‌درآمد است. افزون بر این نخود با بهبود حاصلخیزی خاک از راه تثبیت نیتروژن و نیاز آبی کم، به کشاورزی پایدار در مناطق نیمه‌خشک کمک می‌کند (یا[2] و همکاران، ۲۰۲۴). سطح زیر کشت و میانگین عملکرد نخود در سطح جهان در سال ۲۰۲۳ به ترتیب حدود ۱۴ میلیون هکتار و ۱۱۷۱ کیلوگرم در هکتار و در ایران به ترتیب ۴۲۴ هزار هکتار و ۴۳۱ کیلوگرم در هکتار بوده است (فائو[3]، ۲۰۲۳). بنابراین راهکارهایی که بتوانند عملکرد دانه نخود را در کشور افزایش دهند، از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار هستند.

تنش خشکی به‌طور قابل توجهی بر جوانه‌زنی و رشد گیاهان از جمله نخود در مناطق نیمه خشک تأثیر می‌گذارد و می‌تواند به کاهش قابل توجه عملکرد نخود منجر شود. میانگین کاهش عملکرد نخود در این مناطق در بیشتر موارد بیش از ۵۰ درصد است (کومار[4] و همکاران، ۲۰۲۲). نتایج بررسی‌ها نشان داده است که تنش خشکی در پتانسیل اسمزی بالا (به‌طور مثال ۸- بار) می‌تواند به طور کامل جوانه‌زنی نخود را متوقف کند و به طور قابل توجهی درصد، سرعت و بنیه جوانه‌زنی را در سطوح تنش خشکی پایین‌تر (مانند ۴- بار) کاهش دهد (کومار و همکاران، ۲۰۲۲)

پرایمینگ بذر یک روش پیش از کاشت است که با تعدیل فرآیندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی، جوانه‌زنی بذر و بنیه گیاه را در شرایط تنش خشکی افزایش می‌دهد. به کارگیری نانو ذرات اکسید روی[5] در پرایمینگ بذر به‌عنوان یک راهبرد امیدوار کننده برای بهبود انعطاف‌پذیری جوانه‌زنی و رشد گیاهچه به‌ویژه تحت تنش خشکی و شوری شناسایی شده است. نانو ذرات اکسید روی به دلیل اندازه کوچک و سطح ویژه بالا شاید به دلیل جذب بیش‌تر توسط بذر در هنگام پرایمینگ در افزایش مقاومت به تنش خشکی از فرم بالک آن‌ها کارآمدتر هستند. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که پرایمینگ بذر توسط نانو ذرات اکسید روی به‌طور قابل توجهی سرعت جوانه‌زنی، بینه بذر، رشد ریشه‌چه و فعالیت آنزیم‌های پاداکسیدان را در نخود بهبود داده و اثرات نامطلوب تنش خشکی را کاهش داده است (محمود[6] و همکاران، ۲۰۱۹؛ مظهر[7] و همکاران، ۲۰۲۲). به عنوان مثال، پرایمینگ با نانو ذرات اکسید روی در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر جوانه‌زنی نخود فرنگی را تا ۳۵ درصد و فعالیت پاداکسیدانی را تا ۵۷ درصد در شرایط خشکی افزایش داد (اشفاق[8] و همکاران، ۲۰۲۵). علاوه بر این، نانو ذرات اکسید روی تنظیم اسمزی را افزایش داده و آسیب اکسیداتیو را با افزایش انباشت پرولین و فعالیت سوپراکسید دیسموتاز را در برنج (مظهر و همکاران، ۲۰۲۲) و گندم (دنیا و کاربون[9]، ۲۰۲۳) کاهش می‌دهند. همچنین نشان داده شده است که پرایمینگ بذر با نانو ذرات اکسید روی اثرات نامطلوب تنش خشکی بر رشد گیاهچه نخود و در نهایت عملکرد دانه را با بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیک مانند محتوای کلروفیل و کارایی مصرف آب، کاهش می‌دهد (محمود و همکاران، ۲۰۱۹؛ کارالیجا[10] و همکاران، ۲۰۲۲).

بررسی‌ها همچنین نشان می‌دهند که مدت زمان پرایمینگ بذر نخود در تحقیقات مختلف از ۶ تا ۲۴ ساعت متغیر است، در حالی که غلظت عامل پرایمینگ بذر بسته به نوع ترکیب مورد استفاده بسیار متفاوت‌تر است (کوشال[11] و همکاران، ۲۰۲۴؛ کومار و همکاران، ۲۰۲۲). به طور مثال در مورد نانو ذرات اکسید روی، غلظت مورد استفاده بین ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر متغیر است (کومار و همکاران، ۲۰۲۲). در یک بررسی پرایمینگ بذر نخود با نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم

[1] Saha
[2] Jha
[3] FAO
[4] Kumar
[5] Zinc oxide nanoparticles (ZnO NPs)

[6] Mahmood
[7] Mazhar
[8] Ishfaq
[9] Donia and Carbone
[10] Karalija
[11] Kaushal

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-17]
[DOI: 10.66224/yujs.12.1.117]

غلظت‌های ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر به مدت ۲۴ ساعت در تنش خشکی شدید (۸- بار) باعث افزایش معنی‌دار فعالیت آنتی‌اکسیدانی و جذب آب بذر، درصد جوانه‌زنی (به ترتیب ۳/۶، ۲/۵، ۲/۸ و ۴ برابر، همچنین کاربرد ۲۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره در شاهد) فاقد تنش نسبت به عدم کاربرد آن سبب افزایش ۲/۲۰ برابری در بنیه بذر گردید (قربانی[1] و همکاران، ۲۰۲۲). در مطالعه‌ای دیگر کومار و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد که پرایمینگ با نانو ذرات اکسید روی در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر به مدت ۸ ساعت باعث کاهش آسیب اکسیداتیو و بهبود تنظیم متابولیک در گیاهچه‌های نخود در شرایط تنش خشکی می‌شود.

به طور کلی یافته‌ها بر اهمیت بهینه‌سازی مدت زمان انجام پرایمینگ بذر و غلظت مورد استفاده برای به حداکثر رساندن مزایای آن در شرایط خشکی تأکید می‌کنند و روش‌های پرایمینگ بذر را رویکردی امیدوار کننده برای بهبود انعطاف‌پذیری گیاه زراعی در برابر تنش‌های محیطی ارائه می‌دهند.

با توجه به مطالب ذکر شده، این مطالعه با هدف بررسی اثر مدت زمان‌های مختلف پرایمینگ بذر و روش‌های مختلف پرایمینگ بذر با فرم‌های بالک و نانوذره روی با اندازه ذرات مختلف بر ویژگی‌های جوانه‌زنی نخود و رشد اولیه گیاهچه بذر در سطوح مختلف تنش خشکی انجام شد. در این تحقیق فرض بر این است که تیمار پرایمینگ بذر با فرم نانوذره روی در بهبود خصوصیات جوانه‌زنی نخود از فرم بالک آن موثرتر است. با افزایش شدت تنش خشکی، فرم نانوذره نسبت به فرم بالک روی در کاهش اثرات منفی تنش خشکی موثرتر خواهد بود. با افزایش مدت زمان پرایمینگ بذر، خصوصیات جوانه‌زنی بهبود خواهند یافت. همچنین با افزایش مدت زمان پرایمینگ بذر، اثرات منفی تنش خشکی بیش‌تر کاهش خواهد یافت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۴۰۴ در آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهان زراعی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی روی نخود زراعی رقم کسری در دو مرحله شامل انجام پرایمینگ بذر در مدت زمان‌های مختلف با کودهای روی بالک و نانوذره و مطالعه اثر تیمارهای پرایمینگ بذر بر خصوصیات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه در سطوح مختلف تنش خشکی انجام شد. بذر نخود از مؤسسه تحقیقاتی دیم سرارود کرمانشاه تهیه شد. رقم کسری در سال ۱۴۰۱ توسط موسسه تحقیقات دیم کشور معرفی شده است و متوسط عملکرد آن ۱۱۴۱ کیلوگرم در هکتار است. این رقم نخود مناسب برای کشت در دیم‌زارهای مناطق معتدل و نیمه‌گرمسیر کشور معرفی شده است.

در گام نخست، بذرهای نخود زراعی تحت شرایط مدت زمان‌های مختلف پرایمینگ با محلول‌های ۵۰ میلی‌گرم در لیتر اکسید روی بالک و نانوذره آن با اندازه ذرات ۱ تا ۱۰۰ نانومتر و ۴۰ تا ۶۰ نانومتر قرار گرفتند (شکل ۱). هیدروپرایمینگ و عدم پرایمینگ بذر به عنوان تیمارهای شاهد بودند. بذرهای پرایم نشده فقط تحت تیمارهای تنش خشکی قرار گرفتند و در تجزیه نهایی داده‌ها وارد نشده و میانگین آن‌ها صرفاً جهت مقایسه در کنار داده‌های پرایمینگ قرار گرفت. مدت زمان‌های مورد استفاده جهت پرایمینگ بذر شامل ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت بودند. نانو ذره‌ها ساخت آمریکا بودند و از شرکت ایرانی پیشگامان نانو مواد ایرانیان تهیه شدند.

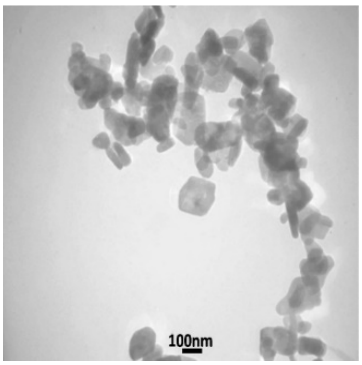
به‌منظور انجام تیمار پرایمینگ، بذرها در مدت زمان‌های ذکر شده در محلول‌های فوق قرار گرفتند. جهت انحلال یکنواخت کودها در آب از عمل سونیکیشن استفاده شد. در طول مدت اعمال تیمار پرایمینگ بذر، هوادهی به بذرها در درون محلول‌های مختلف توسط پمپ هوا به دقت انجام شد. به منظور ریز شدن حباب‌های هوا در محلول‌ها از سنگ هوا استفاده شد. پس از مدت زمان‌های ذکر شده بذرها از محلول‌ها خارج شده و به سرعت با آب مقطر شسته شدند. سپس در معرض هوادهی ملایم توسط فن‌های دمنده هوا در دمای آزمایشگاه خشک شدند (قربانی و همکاران، ۲۰۲۲).

در گام دوم انجام آزمایش، صفات مختلف مرتبط به خصوصیات جوانه‌زنی بذر تحت تأثیر پرایمینگ بذر با اکسید روی به فرم‌های بالک و نانوذره و در مدت

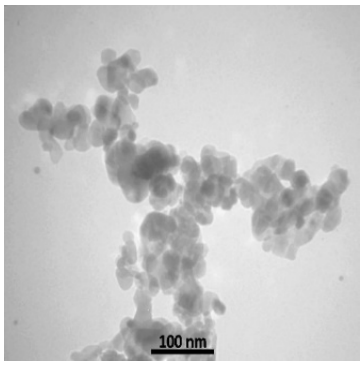
[1] Ghorbani

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-17]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.117]



Zinc oxide 1 to 100 nm



Zinc oxide 40 to 60 nm

شکل ۱. تصویر میکروسکوپ الکترونی نانوذرات اکسید روی با اندازه ذرات مختلف

Fig. 1. Scanning electron microscope image (SEM) of zinc oxide nanoparticles with different particle sizes

زمان‌های مختلف پرایمینگ بذر (طبق توضیحات فوق) در چهار سطح تنش خشکی (شامل: صفر، ۲-، ۴-و ۸- بار) به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد. برای ایجاد سطوح مختلف تنش خشکی (پتانسیل اسمزی) از پلی اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ استفاده شد. غلظت‌های مورد نظر برای تأمین پتانسیل اسمزی طبق روش میشل و کافمن[1] (۱۹۷۳) تهیه شدند.

این آزمایش در پتری‌های استریل با قطر دهانه ۱۲ سانتی‌متر انجام شد. شیوه کشت بذرها درون ظروف پتری به صورت بین کاغذ بود. در این شیوه ابتدا کف پتری‌ها یک لایه کاغذ صافی واتمن ۵۰ گذاشته شد. سپس ۲۵ عدد بذر روی کاغذ صافی قرار گرفت و در ادامه یک لایه دیگر کاغذ صافی روی بذرها گذاشته شد. بذرها قبل از قرار گرفتن در پتری، توسط هیپوکلریت سدیم یک درصد به مدت سه دقیقه ضدعفونی و سپس سه مرتبه با آب مقطر شستشو شدند. در هر پتری، ۱۰ میلی‌لیتر محلول زیر کاغذ صافی ریخته شد و سپس پتری‌ها به ژرمیناتور در دمای ۱±۲۰ درجه سلسیوس و ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی و رطوبت نسبی ۶۰ درصد منتقل و به مدت هشت روز در این شرایط نگه‌داری شدند. تعداد بذرهای جوانه‌زده به صورت روزانه یادداشت شدند (ایستا[2]، ۲۰۱۶). خروج ریشه‌چه به حداقل دو میلی‌متر به عنوان شاخص جوانه‌زنی بذر لحاظ شد (آلن و مه‌یر[3]، ۱۹۹۸). در پایان آزمایش تعداد بذرهایی که گیاهچه‌های غیرطبیعی تولید کرده بودند نیز مورد شمارش قرار گرفتند. این بذرها در صورت انتقال به مزرعه توانایی ایجاد گیاهچه‌های طبیعی را نخواهند داشت. گیاهچه‌هایی که رشد طبیعی ندارند یا شکل نامتعارفی داشته باشند، غیر طبیعی محسوب می‌شوند (ایستا، ۲۰۱۶).

در پایان آزمایش، برای اندازه‌گیری طول ساقه‌چه و ریشه‌چه، در هر پتری ۱۰ عدد بذر جوانه‌زده به طور تصادفی انتخاب و این صفت‌ها توسط کولیس اندازه‌گیری شدند. پس از اندازه‌گیری وزن تر ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه با استفاده از ترازوی دقیق دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم، با قراردادن آن‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۲ درجه سلسیوس وزن خشک آن‌ها نیز اندازه‌گیری شد. سپس سایر صفت‌های مرتبط با کیفیت جوانه‌زنی شامل: درصد و سرعت جوانه‌زنی، متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی، متوسط جوانه‌زنی روزانه، شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه و ضریب آلومتریک جوانه‌زنی نیز محاسبه شدند (جدول ۱).

پس از وارد کردن داده‌ها در برنامه Excel، طبیعی بودن روند توزیع آن‌ها به دقت بررسی شد. در این ارتباط درصد و سرعت جوانه‌زنی روند توزیع غیرطبیعی داشتند، بنابراین نرمال شدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری(SAS (Version 9.2 و مقایسه

[1] Michel and Kaufmann
[2] International Seed Testing Association (ISTA)
[3] Allen and Meyer

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-17]
[DOI: 10.66224/yujs.12.1.117]

میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌داری یا LSD ($P\leq0.05$) انجام شد.

نتایج و بحث

بر اساس یافته‌های به دست آمده، تنش خشکی بر تمامی متغیرهای اندازه‌گیری شده تأثیر معنی‌داری داشت. در این ارتباط افزایش شدت خشکی کاهش معنی‌دار وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه، وزن خشک گیاهچه، میانگین جوانه‌زنی، میانگین جوانه‌زنی روزانه و شاخص وزنی بنیه گیاهچه را در پی داشت. در مقابل نسبت ریشه‌چه به ساقه‌چه و میانگین زمان لازم برای جوانه‌زنی با افزایش سطوح خشکی افزایش یافت (جدول ۲).

اعمال تنش خشکی تا سطح ۲- بار تأثیر معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی نسبت به شاهد نداشت. ولی ادامه شدت تنش، اثر کاهشی به همراه داشت. به گونه‌ای که در سطح تنش خشکی ۸- بار پایین‌ترین درصد جوانه‌زنی مشاهده شد (۶۹/۰ درصد) (جدول ۲). روند تأثیرگذاری تنش خشکی بر میانگین جوانه‌زنی روزانه مشابه تأثیر آن بر درصد جوانه‌زنی بود. کاهش فعالیت‌های آنزیمی مربوط به فرآیندهای بیوشیمیایی و جوانه‌زنی در پی کاهش جذب آب را می‌توان به عنوان عامل اصلی افت جوانه‌زنی در شرایط تنش خشکی نسبت داد. شاخص وزنی بنیه گیاهچه با اعمال تنش خشکی کاهش یافت به گونه‌ای که در سطح ۸- بار به میزان نزدیک به ۳۵ درصد شاهد رسید (جدول ۲). از آنجایی‌که بنیه بذر نقش مهمی در سبز شدن یکنواخت بذر در مزرعه دارد، دارای اهمیت ویژه‌ای است. کاهش پتانسیل آب محلول اطراف بذر، تقسیم سلولی را کاهش می‌دهد. افت پتانسیل آب سبب کاهش بنیه استفاده جنین از اندام ذخیره‌ای می‌شود و متعاقب آن قدرت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (قربانی و همکاران، ۲۰۲۲).

جدول ۱. صفت‌های اندازه‌گیری شده به همراه روش اندازه‌گیری آنها

Table 1. Measured attributes along with their measurement method

ویژگی جوانه‌زنی Germination traits		فرمول Formula	منبع Source
Germination percentage	درصد جوانه‌زنی	GP = (N×100) / M	ایستا (۲۰۱۶)
Germination rate	سرعت جوانه‌زنی	GR =ΣNi / Ti	مگوایر[1] (۱۹۶۲)
Mean germination time	میانگین زمان جوانه‌زنی	MGT = Σ (Ni × Di)/ Σ N	الیس و روبرت[2] (۱۹۸۱)
Mean daily germination	میانگین جوانه‌زنی روزانه	MDG = GP/T	اسکات[3] و همکاران (۱۹۸۴)
Seedling vigor length index	شاخص طولی بنیه گیاهچه	SVL = GP ×SL	عبدالباکی و اندرسون[4] (۱۹۷۳)
Seedling vigor weight index	شاخص وزنی بنیه گیاهچه	SVW = GP × SDW	عبدالباکی و اندرسون (۱۹۷۳)
Allometric coefficient	ضریب آلومتریک	AC = SDW/RDW	تومانگو[5] و همکاران (۲۰۲۰)

GP: درصد جوانه‌زنی، N: تعداد بذرهای جوانه‌زده در پایان آزمایش، M: تعداد کل بذرها، GR: سرعت جوانه‌زنی، Ni: تعداد بذرهای جوانه‌زده در هر روز، Ti: تعداد روزهای سپری شده از آغاز آزمایش، MTG: میانگین زمان لازم برای جوانه‌زنی، Di: تعداد روزهای پس از آغاز جوانه‌زنی، ∑Ni تعداد کل بذرهای جوانه‌زده،SVW : شاخص وزنی بنیه گیاهچه، SVL: شاخص طولی بنیه گیاهچه، SL: طول ساقه‌چه، AR: ضریب آلومتریک، SDW: وزن خشک ساقه‌چه، RDW: وزن خشک ریشه‌چه

[1] Maguire
[2] Ellis
[3] Scott
[4] Abdul-Baki
[5] Tamagno

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-17]
[DOI: 10.66224/yujs.12.1.117]

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر تنش سطوح مختلف خشکی بر برخی صفات مرتبط به کیفیت جوانه‌زنی بذر نخود

Table 2. Mean comparison of the effect of different drought stress levels on some traits related to Chickpea seed germination quality

تنش خشکی Drought stress (bar)	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight (mg)	وزن خشک ساقه چه Plumule dry weight (mg)	وزن خشک ریشه چه Radicle dry weight (mg)	ریشه‌چه/ساقه چه Radicle/ Plumule	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه زنی (بذر در روز) Germination rate (seed/d)	میانگین زمان لازم برای جوانه‌زنی (روز) Mean time to seed germination	میانگین جوانه‌زنی روزانه Mean daily germination time	شاخص وزنی بنیه گیاهچه Seedling vigor Index
0	60.2^{a}	29.3^{a}	30.9^{a}	1.12^{b}	98.9^{a}	15.7^{a}	2.09^{b}	12.4^{a}	5953^{a}
-2	52.5^{b}	24.0^{b}	28.5^{a}	1.17^{b}	97.8^{a}	15.0^{b}	2.22^{b}	12.2^{a}	5129^{b}
-4	42.0^{c}	18.4^{c}	23.6^{b}	1.14^{b}	91.2^{b}	13.5^{c}	2.41^{a}	11.4^{b}	3816^{c}
-8	30.2^{d}	10.8^{d}	19.4^{c}	1.45^{a}	69.0^{c}	10.2^{d}	2.41^{a}	8.62^{c}	2074^{d}

در هر ستون میانگین‌ها با حداقل یک حرف مشابه اختلاف معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

In each column the mean with atleast one similar letter do not differ significantly at the 5% probability level based on the LSD test.

جدول ۳. اثر مدت زمان پرایمینگ بر طول گیاهچه، سرعت جوانه‌زنی و شاخص طولی بنیه بذر

Table 3. Effect of priming duration on seedling length, germination rate, and seedling vigor length index

مدت زمان پرایمینگ Priming duration (hour)	طول گیاهچه Seedling length (cm)	سرعت جوانه‌زنی Germination rate (Seed/d)	شاخص طولی بنیه گیاهچه Seedling vigor length index	طول ریشه‌چه Radicle length (cm)
6	6.27^{b}	13.4^{b}	577^{b}	3.34^{b}
12	6.51^{a}	13.6^{ab}	602^{a}	3.55^{a}
24	6.53^{a}	13.8^{a}	608^{a}	3.51^{a}

در هر ستون میانگین‌ها با حداقل یک حرف مشابه اختلاف معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

In each column the mean with atleast one similar letter do not differ significantly at the 5% probability level based on the LSD test.

جدول ۴. اثر نوع پرایمینگ بر وزن خشک گیاهچه، ساقه‌چه و ریشه‌چه، شاخص وزنی بنیه گیاهچه، سرعت جوانه‌زنی و میانگین جوانه‌زنی روزانه

Table 4. Effect of priming type on seedling and radicle dry weight, seedling vigor weight index, and allometric coefficient, Germination rate and Mean daily germination

نوع پرایمینگ Priming Type	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight (mg)	وزن خشک ساقه‌چه Plumule dry weight (mg)	وزن خشک ریشه‌چه Radicle dry weight (mg)	شاخص وزنی بنیه گیاهچه Seedling vigor weight index	سرعت جوانه‌زنی Germination rate (Seed/d)	میانگین جوانه‌زنی روزانه Mean daily germination
No prime *	34.4	16.8	17.6	3155	13.0	11.1
Hydroprime	42.5^{b}	16.8^{b}	25.7^{b}	3907^{b}	13.6^{ab}	11.2^{b}
Zn bulk	45.7^{b}	23.1^{a}	22.9^{b}	4198^{b}	13.8^{a}	11.3^{a}
Zn NPs 40-60	54.0^{a}	22.8^{a}	30.9^{a}	4973^{a}	13.9^{a}	11.3^{a}
ZnNPs 1-100	54.5^{a}	23.8^{a}	30.7^{a}	4982^{a}	13.7^{b}	11.2^{b}

*داده‌های مربوط به تیمار عدم پرایم تجزیه نشده و صرفاً جهت مقایسه ارائه شده است.

در هر ستون میانگین‌ها با حداقل یک حرف مشابه اختلاف معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

*Data from the non-prime treatment were not analyzed and are provided for comparison purposes only.

In each column the mean with atleast one similar letter do not differ significantly at the 5% probability level based on the LSD test.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-17]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.117]

بیشترین میزان متوسط زمان جوانه‌زنی در ۸- و ۴- بار مشاهده شد که نسبت به شاهد، ۱/۱۵ روز میانگین زمان جوانه‌زنی بیشتری داشتند. در رابطه با سرعت جوانه‌زنی نیز، کمترین میزان به پتانسیل اسمزی ۸- بار مربوط بود (۱۰/۲ بذر در روز) (جدول ۲). نتایج همچنین نشان داد که وزن خشک ریشه‌چه به‌صورت معنی‌داری ($P\leq0.01$) تحت تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی قرار گرفت (جدول ۲). در این رابطه اختلاف معنی‌داری تا تنش ۲- بار مشاهده نشد، ولی با افزایش آن تا ۸- بار، نزدیک به ۶۲ درصد از وزن خشک ریشه‌چه کاهش پیدا کرد (جدول ۲). این نتایج با یافته‌های محمود و همکاران (۲۰۱۹) همخوانی داشت.

نتایج آزمایش همچنین نشان داد افزایش مدت زمان پرایمینگ تأثیر معنی‌داری بر طول گیاهچه، سرعت جوانه‌زنی، شاخص طولی بنیه گیاهچه و طول ریشه‌چه داشت (جدول ۳). با این‌حال افزایش مدت از ۱۲ به ۲۴، تأثیر معنی‌داری بر این روند افزایشی نداشت (جدول ۳).

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد نوع پرایمینگ تأثیر معنی‌داری بر سایر صفات مورد بررسی به غیر از درصد جوانه‌زنی و نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه داشته است (جدول ۴). به طور کلی انجام پرایمینگ تأثیر مثبت بر صفات یاد شده داشت، هرچند پرایمینگ با نانو ذره و فرم بالک اکسید روی از هیدروپرایمینگ بهتر عمل کرد (جدول ۴). در این رابطه عنوان شده است که تحریک افزایش فعالیت‌های سلولی باعث افزایش تجزیه مواد ذخیره‌ای به مواد قابل انتقال مانند ساکارز و گلوکز می‌شود، که در پی آن ویژگی‌های جوانه‌زنی در حضور نانو ذرات نسبت به عدم حضور آن‌ها را بالا می‌برد (مرادی و همکاران، ۲۰۲۳).

در مقایسه پرایمینگ با اکسید روی به فرم بالک و پرایمینگ با فرم نانوذره نیز مشاهده شد که پرایمینگ با نانوذرات به قطر ۱ تا ۱۰۰ نانومتر کارکرد بهتری را نشان داد. این موضوع ممکن است به انتقال بهتر و سریع‌تر نانو ذرات ۴۰ تا ۶۰ نانومتری به داخل بذر باشد. چراکه قطر پلاسمودسماتای سلولی در بازه ۵۰ تا ۶۰ نانومتر است (پیترز[1] و همکاران، ۲۰۲۱).

نتایج آزمایش نشان داد طول گیاهچه، طول ساقه‌چه، شاخص طولی بنیه بذر، درصد گیاهچه‌های غیر طبیعی ($P\leq0.01$) و طول ریشه‌چه ($P\leq0.05$) به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر برهمکنش تنش خشکی و نوع پرایمینگ قرار گرفتند (جدول ۵). این نتایج با یافته‌های آزمایش بلندی عموقین[2] و همکاران (۲۰۲۰) همخوانی داشت. که در آن کلیه روش‌های پرایمینگ، باعث افزایش معنی‌دار جوانه‌زنی، شاخص‌های بیوشیمیایی و آنزیمی گیاهچه‌ها و کاهش معنی‌دار میانگین زمان‌جوانه‌زنی و درصد گیاهچه‌های غیرطبیعی در بذرهای گاوزبان اروپایی گردید.

افزایش سطح تنش خشکی به افزایش معنی‌دار شمار گیاهچه‌های غیر طبیعی منجر شد. در شرایط بدون تنش و تنش‌های ملایم تا متوسط (۲- تا ۴- بار)، انجام پرایمینگ به ویژه همراه با اکسید روی (نانو و بالک) توانست اثرات تنش خشکی را تعدیل کند. با اینحال در تنش شدید (۸- بار) آسیب تنش خشکی بوسیله پرایمینگ جبران نشد (جدول ۵).

در شرایط بدون تنش، اعمال پرایمینگ به‌ویژه پرایمنگ با نانو اکسید روی و فرم بالک آن باعث افزایش معنی‌دار طول ریشه‌چه شد. با قرارگیری بذرها در شرایط تنش، از طول ریشه‌چه کاسته شد. به گونه‌ای که مقدار آن از ۴/۸۷ میلی متر در ترکیب تیماری نانو پرایمینگ با اکسید روی (۱ تا ۱۰۰ نانومتری) و بدون تنش به کم تر از ۲/۲۰ در بذرهای تنش داده در سطح ۸- بار رسید (جدول ۶). با این حال انجام پرایمینگ اثرات تنش خشکی را در سطوح ۲- و ۴- بار تعدیل کرد. هرچند کارکرد پرایمینگ با اکسید روی (نانو و بالک) بهتر از هیدروپرایمینگ بود. این نتایج با یافته‌های قربانی و همکاران (۲۰۲۳) همخوانی داشت.

افزایش تنش اکسیداتیو به افزایش میزان گونه‌های اکسیژن واکنش پذیر[3] (ROS) و پراکسیداسیون لیپید منجر می‌شود. پرایمینگ با نانوذرات اکسید روی با افزایش سازوکار دفاعی پاداکسیدانی به کاهش

[1] Peters

[2] Bolandi Amoghin

[3] Reactive Oxygen Species

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-17]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.117]

جدول ۵. برهمکنش نوع پرایمینگ و تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده بذر نخود

Table 5. Interaction of priming type and drought stress on some chickpea measured traits

نوع پرایمینگ Priming type	تنش خشکی Drought stress (bar)	طول گیاهچه Seedling length(cm)	طول ساقه‌چه Plumule length (cm)	طول ریشه‌چه Radicle length (cm)	گیاهچه غیرطبیعی Abnormal seedling	شاخص طولی بنیه گیاهچه Seedling vigor length index
No prime*	0	7.03	3.28	3.75	0.880	696
	-2	6.60	2.92	3.68	3.55	644
	-4	5.53	2.47	2.98	19.1	501
	-8	3.39	1.44	1.95	41.3	240
Hydroprime	0	8.10^{cd}	3.91^{bc}	4.19^{cd}	1.33^{ef}	799^{d}
	-2	7.51^{ef}	3.59^{cd}	3.92^{de}	1.77^{ef}	737^{e}
	-4	6.11^{g}	2.84^{f}	3.27^{hi}	12.4^{d}	566^{f}
	-8	3.60^{h}	1.47^{g}	2.12^{i}	29.3^{a}	250^{g}
Zn bulk	0	8.60^{bc}	4.07^{b}	4.52^{abc}	0.880^{ef}	851^{bc}
	-2	7.98^{de}	3.79^{bc}	4.19^{cd}	0.440^{f}	795^{d}
	-4	6.46^{g}	3.03^{ef}	3.42^{fgh}	11.6^{d}	593^{f}
	-8	3.59^{h}	1.43^{g}	2.15^{i}	27.1^{ab}	237^{g}
Zn NPs 40-60	0	8.83^{ab}	4.11^{ab}	4.71^{ab}	0.880^{ef}	875^{ab}
	-2	8.23^{cd}	3.87^{bc}	4.37^{bc}	4.00^{e}	790^{d}
	-4	6.19^{g}	2.94^{f}	3.25^{hi}	11.6^{d}	572^{f}
	-8	3.65^{h}	1.49^{g}	2.15^{i}	25.8^{c}	250^{g}
Zn NPs 1-100	0	9.28^{a}	4.42^{a}	4.87^{a}	0.88^{ef}	916^{a}
	-2	8.28^{bc}	3.73^{c}	4.55^{abc}	1.77^{ef}	806^{cd}
	-4	6.39^{g}	3.06^{ef}	3.32^{ghi}	11.1^{d}	563^{f}
	-8	3.37^{h}	1.44^{g}	1.92^{i}	25.3^{c}	231^{g}

*داده‌های مربوط به تیمار عدم پرایم تجزیه نشده و صرفاً جهت مقایسه ارائه شده است.

در هر ستون میانگین‌ها با حداقل یک حرف مشابه اختلاف معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

*Data from the non-prime treatment were not analyzed and are provided for comparison purposes only.

In each column the mean with atleast one similar letter do not differ significantly at the 5% probability level based on the LSD test.

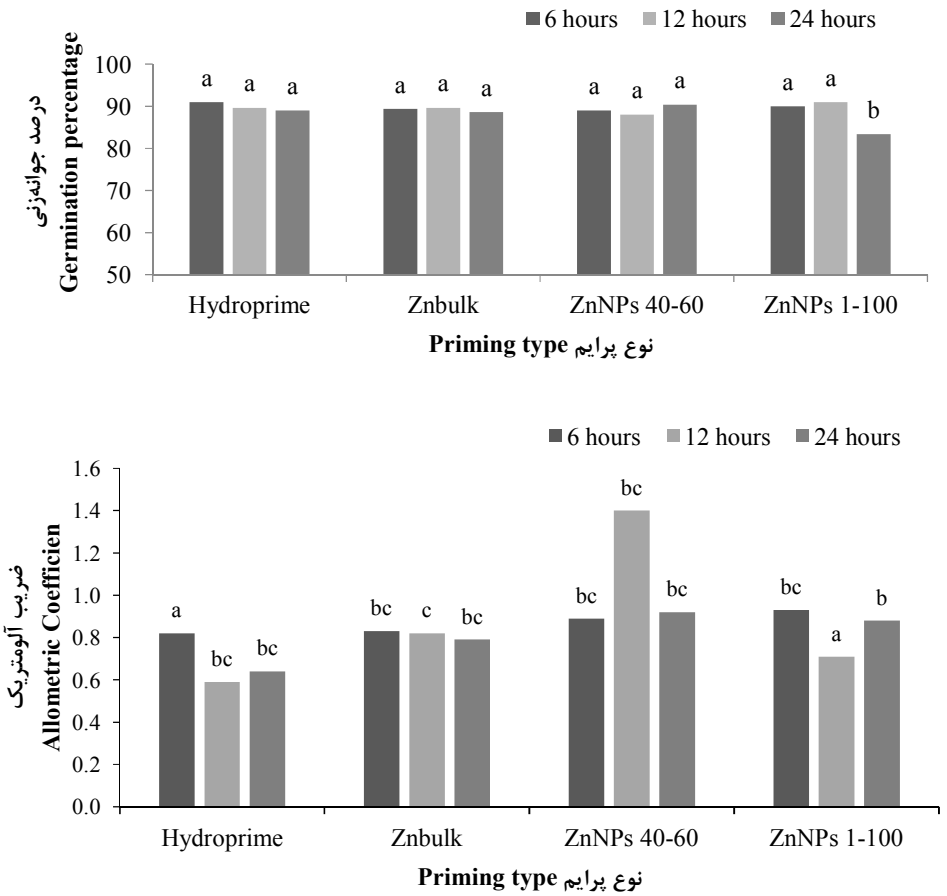
آسیب‌های اکسیداتیو کمک می‌کند (مرادی[1] و همکاران، ۲۰۲۳).

همانند یافته‌های این آزمایش، نانو ذرات اکسید روی باعث افزایش جوانه‌زنی و رشد گیاهچه نخود، افزایش درصد ظهور ریشه‌چه، طول گیاهچه، درصد جوانه‌زنی و شاخص‌های بنیه بذر در مقایسه با شاهد شد (بورمن[2] و همکاران، ۲۰۱۳)؛ صفشکن[3] و همکاران، ۲۰۲۵). با این حال غلظت‌های بالاتر نانو ذرات اکسید روی (بیشتر از ۱۰ قسمت در میلیون) اثر معکوس بر رشد ریشه داشتند (بورمن و همکاران ، ۲۰۱۳).

انجام پرایمینگ بذر از طریق سازوکارهای گوناگون بر بذر اثر می‌گذارد. نانو ذرات مانند نانو ذرات اکسید روی، با بهبود میزان متابولیک، بنیه بذر و خصوصیات جوانه‌زنی بر کیفیت جوانه‌زنی و بنیه گیاهان تأثیر می‌گذارند (عباسی خالکی[4] و همکاران، ۲۰۲۱)، افزون بر این، نانو ذره‌ها با تغییر در متابولیسم دانه، برای نمونه افزایش فعالیت آلفا آمیلاز از طریق اسید جیبرلیک و یا شکستن نشاسته ذخیره شده، در جذب مواد مغذی توسط بذر نقش دارد. این امر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا جذب ضعیف مواد مغذی بر کل روند رشد از جمله تشکیل ریشه، استقرار گیاه، گلدهی و تشکیل میوه به‌ویژه در شرایط دیم و خشک، تأثیر منفی می‌گذارد (دنیا و کاربونه، ۲۰۲۳). فعالیت آنزیم‌های

[1] Mouradi
[2] Burman
[3] Safshekan
[4] Abbasi Khalaki

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-17]
[DOI: 10.66224/yujs.12.1.117]



شکل ۲. برهمکنش نوع پرایمینگ و مدت زمان پرایمینگ بر درصد جوانه‌زنی و ضریب الومتریک بذر نخود

Fig. 2. Priming type × Priming duration on germination percentage and allometric coefficient of Chickpea seed

میانگین‌ها با حداقل یک حرف مشابه اختلاف معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

The mean with atleast one similar letter do not differ significantly at the 5% probability level based on the LSD test.

کاتالاز، پراکسیداز و میزان اسیدآمینه پرولین در گیاهچه‌های حاصل از بذرهای پرایمینگ‌شده به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از شاهد بود (بلندی عموقین و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین تحقیق الشازولی[1] و همکاران (۲۰۲۵) تاکید کردند که نانو پرایمینگ بذر با نانو ذرات اکسید روی تجمع پرولین را در گیاهچه‌های در حال رشد افزایش داده و اثرات تنش خشکی را در گندم کاهش می‌دهد.

در بررسی برهمکنش مدت زمان پرایمینگ با نوع پرایمینگ، اثرات معنی‌دار تنها برای نانو ذرات اکسید روی با قطر ۱ تا ۱۰۰ نانومتر آن هم در طول مدت ۲۴ ساعت مشاهده شد. در این ارتباط کمترین درصد جوانه‌زنی (۸۳/۳ درصد) (شکل ۲) و میانگین جوانه‌زنی روزانه (۱۱/۲ بذر جوانه‌زده در روز) در پرایمینگ با نانو ذرات اکسید روی (قطر ۱ تا ۱۰۰ نانومتر) (جدول ۴) به دست آمد. این موضوع ممکن است به خاطر نفوذ بیشتر نانو ذرات ۱ تا ۱۰۰ نانومتری و درنتیجه اثرات سمی آن باشد.

به‌طور کلی نقش مثبت پرایمینگ با نانو ذرات اکسید روی در راستای کاهش آسیب‌های تنش خشکی به اثرات بیوشیمیایی آن مانند کاهش میزان گونه‌های اکسیژن واکنش پذیر (ROS)، کاهش پراکسیداسیون

[1] El-Shazoly

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-17]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.117]

لیپید و محتوای مالون دی آلدئید[1] (MDA)، افزایش فعالیت آنزیم‌های پاداکسیدانی مانند سوپر اکسید دیسموتاز[2] (SOD) و پراکسیداز[3] (بورمن و همکاران، ۲۰۱۳؛ اشفاق و همکاران، ۲۰۲۵)، افزایش فعالیت آلفا آمیلاز[4]، افزایش محتوای پروتئین و کاهش مجموع قندهای محلول[5] (TSS) (داس[6] و همکاران، ۲۰۲۲) و همچنین به بهبود تنظیم اسمزی (مرادی و همکاران، ۲۰۲۳) در بذرهای پرایمینگ شده با نانو ذرات اکسید روی نسبت داده شده است.

نتیجه‌گیری

با توجه به شرایط کشت نخود که اغلب در معرض شرایط کم‌آب است، جوانه‌زنی سریع و بهینه، در شکل‌گیری یک زراعت مطمئن با عملکرد مناسب نقش بسیار مهمی دارد. در این بین بهره‌گیری از روش پرایمینگ بذر به ویژه استفاده از نانوذرات اکسید روی می‌تواند در بهبود ویژگی‌های جوانه‌زنی نخود در شرایط ملایم و متوسط موثر باشد. نانو ذرات اکسید روی به‌طور قابل توجهی جوانه‌زنی، و رشد گیاهچه نخود را تقویت می‌کنند، و با بهبود سامانه دفاعی پاداکسیدانی و تنظیم اسمزی، پیامدهای جانبی تنش خشکی را نیز کاهش می‌دهد. با اینحال تعیین غلظت بهینه و کاربرد دقیق نانوذرات برای به حداکثر رساندن مزایا و به حداقل رساندن پتانسیل اثرات سمی آن‌ها بسیار مهم است. در نهایت در شرایط دیم‌زارهای ایران پرایمینگ با نانوذرات ZnO در غلظت ۱ تا ۱۰۰ نانومتر به مدت ۱۲ ساعت می‌تواند عملکرد مزرعه را بهبود بخشد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان به طور مساوی در مفهوم‌سازی مقاله و نگارش پیش‌نویس‌های اولیه و بعدی آن مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

این پژوهش، هیچ کمک مالی خاصی از سوی سازمان‌های تأمین‌کننده اعتبار در بخش‌های عمومی، تجاری یا غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از حمایت‌های مالی و تجهیزاتی دانشگاه رازی و شورای ملی نخود ایران قدردانی نمایند..

[1] Malondialdehyde
[2] Superoxide Dishutase
[3] Peroxidase
[4] Alpha-amylase
[5] Total soluble sugar
[6] Das

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-17]
[DOI: 10.66224/yujs.12.1.117]

References منابع

Abbasi Khalaki, M., Moameri, M., Asgari Lajayer, B., & Astatkie, T. (2021). Influence of nano-priming on seed germination and plant growth of forage and medicinal plants. *Plant Growth Regulation, 93*(1), 13–28. https://doi.org/10.1007/s10725-020-00670-9

Abdul-Baki, A. A., & Anderson, J. D. (1973). Relationship between decarboxylation of glutamic acid and vigor in soybean seed. *Crop Science, 13*(2), 227–232. https://doi.org/10.2135/cropsci1973.0011183X001300020023x

Allen, P.S., & Meyer, S.E. (1998). Ecological aspects of seed dormancy loss. *Seed Science Research*, *8*(2), 183-192.

Bolandi Amoghin, M., Sheikhzadeh, P., Khomary, S., & Zare, N. (2020). Comparison the effects of different of seed priming techniques on improving germination and antioxidant enzymes activity in borage seedlings. *Iranian Journal of Seed Sciences and Research, 7*(3), 279–294. [In Persian]

Burman, U., Saini, M., & Kumar, P. (2013). Effect of zinc oxide nanoparticles on growth and antioxidant system of chickpea seedlings. *Toxicological and Environmental Chemistry, 95*(4), 605–612. https://doi.org/10.1080/02772248.2013.803796

Das, G., & Dutta, P. (2022). Effect of nanopriming with zinc oxide and silver nanoparticles on storage of chickpea seeds and management of wilt disease. *Journal of Agricultural Science and Technology, 24*(1), 213–226.

Donia, D. T., & Carbone, M. (2023). Seed priming with zinc oxide nanoparticles to enhance crop tolerance to environmental stresses. *International Journal of Molecular Sciences, 24*(24), 17612. https://doi.org/10.3390/ijms242417612

Ellis, R. H., & Roberts, E. H. (1981). The quantification of aging and survival in orthodox seeds. *Seed Science and Technology, 9*, 373–409.

El-Shazoly, R. M., Othman, A. A., Zaheer, M. S., Al-Hossainy, A. F., & Abdel-Wahab, D. A. (2025). Zinc oxide seed priming enhances drought tolerance in wheat seedlings by improving antioxidant activity and osmoprotection. *Scientific Reports, 15*(1), 3863. https://doi.org/10.1038/s41598-025-86824-z

El-Shazoly, R. M., Othman, A. A., Zaheer, M. S., Al-Hossainy, A. F., & Abdel-Wahab, D. A. (2025). Zinc oxide seed priming enhances drought tolerance in wheat seedlings by improving antioxidant activity and osmoprotection. *Scientific Reports*, *15*(1), 3863. https://doi.org/10.1038/s41598-025-86824-z

Fazeli-Nasab, B., Vessal, S., Bagheri, A., & Malekzadeh-Shafaroudi, S. (2025). Evaluation of drought-tolerant chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) using morphophysiological and phytochemical traits. *Frontiers in Plant Science*, *16*, 1529177. https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1529177

Food and Agriculture Organization (FAO) (2023). https://www.fao.org/statistics/en#

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-17]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.117]

Ghorbani, R., Movafeghi, A., Ganjeali, A., & Nabati, J. (2022). Investigating the germination characteristics of Chickpea (*Cicer arietinum*) in response to titanium dioxide nanoparticles priming and drought stress. *Iranian Journal of Seed Research, 9*(1), 189–202. https://doi.org/10.52547/yujs.9.1.189

International Seed Testing Association. (2016). *Handbook for seedling evaluation*.

Ishfaq, A., Haidri, I., Shafqat, U., Khan, I., Iqbal, M., Mahmood, F., & Hassan, M. U. (2025). Impact of biogenic zinc oxide nanoparticles on physiological and biochemical attributes of pea (*Pisum sativum* L.) under drought stress. *Physiology and Molecular Biology of Plants, 31*, 1–16. https://doi.org/10.1007/s12298-024-01537-3

Jha, U. C., Nayyar, H., Thudi, M., Beena, R., Vara Prasad, P. V., & Siddique, K. H. (2024). Unlocking the nutritional potential of chickpea: Strategies for biofortification and enhanced multinutrient quality. *Frontiers in Plant Science, 15*, 1391496. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1391496

Karalija, E., Vergata, C., Basso, M. F., Negussu, M., Zaccai, M., Fatima, M., & Martinelli, F. (2022). Chickpeas' tolerance of drought and heat: Current knowledge and next steps. *Agronomy, 12*(10), 2248. https://doi.org/10.3390/agronomy12102248

Kaushal, K., Rajani, K., Kumar, R. R., Ranjan, T., Kumar, A., Ahmad, M. F., Kumar, V., Kumar, V., & Kumar, A. (2024). Physio-biochemical responses and crop performance analysis in chickpea upon botanical priming. *Scientific Reports, 14*(1), 13186. https://doi.org/10.1038/s41598-024-59878-8

Khan, A. A., Wang, Y. F., Akbar, R., & Alhoqail, W. A. (2025). Mechanistic insights and future perspectives of drought stress management in staple crops. *Frontiers in Plant Science*, *16*, 1547452. https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1547452

Kumar, P., Singh, R., Sharma, S., & Kaur, J. (2022). Impact of drought stress on chickpea yield and strategies for mitigation. *Journal of Environmental Science and Health, Part B, 57*(1), 1–13.

Maguire, J. D. (1962). Speed of germination: Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science, 2*(2), 176–177. https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x

Mahmood, A., Kanwal, H., Kausar, A., Ilyas, A., Akhter, N., & Khalid, H. (2019). Seed priming with zinc modulates growth, pigments, and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under water deficit conditions. *Applied Ecology and Environmental Research, 17*(1), 147–160. https://doi.org/10.15666/aeer/1701_147160

Mazhar, W. M., Ishtiaq, M., Hussain, I., Parveen, A., Hayat Bhatti, K., Azeem, M., Thind, S., Ajaib, M., Maqbool, M., Sardar, T., & Nasir, N. (2022). Seed nano-priming with Zinc Oxide nanoparticles in rice mitigates drought and enhances agronomic profile. *PLOS ONE, 17*(3), e0264967. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0264967

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-17]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.117]

Michel, B. E., & Kaufmann, M. R. (1973). The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology, 51*(5), 914–916. https://doi.org/10.1104/pp.51.5.914

Mouradi, M., Farissi, M., Khadraji, A., Bouizgaren, A., Qaddoury, A., & Ghoulam, C. (2023). Seed priming and nano priming techniques as tools to alleviate osmotic stress in legumes. In *Biosaline agriculture as a climate change adaptation for food security* (pp. 143–164). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24279-3_7

Nile, S. H., Thiruvengadam, M., Wang, Y., Samynathan, R., Shariati, M. A., Rebezov, M., Nile, A., Sun, M., Venkidasamy, B., Xiao, J., & Kai, G. (2022). Nano-priming as emerging seed priming technology for sustainable agriculture—recent developments and future perspectives. *Journal of Nanobiotechnology*, *20*(1), 254. https://doi.org/10.1186/s12951-022-01423-8

Peters, W. S., Jensen, K. H., Stone, H. A., & Knoblauch, M. (2021). Plasmodesmata and the problems with size: Interpreting the confusion. *Journal of Plant Physiology, 257*, 153341. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2020.153341

Safshekan, S., Pourakbar, L., & Rahmani, F. (2025). The effect of Zn NPs on some growth, biochemical and anatomical factors of chickpea plant stem under UVB irradiation. *Plant Nano Biology, 8*, 100154. https://doi.org/10.1016/j.plana.2025.100154

Saha, D., Senthilkumar, T., Sharma, S., Singh, C. B., & Manickavasagan, A. (2022). Application of near-infrared hyperspectral imaging coupled with chemometrics for rapid and non-destructive prediction of protein content in single chickpea seed. *Journal of Food Composition and Analysis, 115*, 104938. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104938

Scott, S. J., Jones, R. A., & Williams, W. A. (1984). Review of data analysis methods for seed germination. *Crop Science, 24*(6), 1192–1199. https://doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183X002400060043x

Tamagno, S., Sadras, V. O., Ortez, O. A., & Ciampitti, I. A. (2020). Allometric analysis reveals enhanced reproductive allocation in historical set of soybean varieties. *Field Crops Research, 248*, 107717. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107717

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-17]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.117]